

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Л - 814

13-81-456

ЛОХОНЯИ

Ласло

**ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА СЪЕМА
И РЕГИСТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ
С ГОДОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЕТЕКТОРОВ**

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Дубна 1981

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединённого института ядерных исследований

Научный руководитель:

доктор технических наук
старший научный сотрудник

Сергей Геннадьевич
БАСИЛАДЗЕ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук
старший научный сотрудник

Юрий Вацлавович
ЗАНЕВСКИЙ

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Владимир Александрович
СЕНЬКО

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1981 г. в _____ часов на заседании Специализированного совета Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединённого института ядерных исследований, г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1981 г.

Учёный секретарь
Специализированного совета *М.Ф.Лихачёв*
М.Ф.Лихачёв

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Представленная диссертация основана на материалах исследований и разработок ^{1+5/}, выполненных автором в 1975-1980 гг. в ЦИФ ВАН и в ЛВЭ ОИЯИ. Она посвящена развитию многоканальной электронной регистрирующей аппаратуры, применяемой в современных ядерно-физических экспериментах.

Актуальность работы. Укрупнение исследовательских установок - общая тенденция развития экспериментальных средств научных исследований. Особенно сильно эта тенденция проявляется в экспериментальных установках физики высоких энергий. Стремление экспериментаторов изучать всё более "тонкие" физические процессы требует увеличения разрешающей способности установок, которое достигалось за прошедшее десятилетие в основном за счёт повышения пространственного разрешения. Это отразилось, в частности, в увеличении на один-два порядка количества каналов регистрации исследуемых событий. Общее число сигнальных проволок в камерах для большого эксперимента составляет десятки тысяч, а количество идентичных каналов регистрации аналоговых величин исчисляется сотнями.

Имеющиеся до середины 70-х годов разработки электронной аппаратуры съёма и регистрации информации опирались, в основном, на технику транзисторов и интегральных схем малой степени интеграции и представляли собой, как правило, набор практически независимых регистрирующих каналов. Эта техника позволила ввести в практику физического эксперимента такие новые типы детекторов, как пропорциональные и дрейфовые камеры. Однако массовое внедрение этих детекторов сдерживалось из-за нецелесообразности данной аппаратуры для создания многоканальных систем. Это было вызвано рядом её существенных недостатков:

а) не были обеспечены достаточный (для многоканальных систем) уровень надёжности, высокая плотность размещения измерительных каналов и низкая потребляемая мощность;

б) не были предусмотрены специальные меры для фильтрации нулевой информации, что приводило к большому времени считывания;

в) не уделялось достаточного внимания проблемам, встающим при массовом производстве аппаратуры, например, трудоёмкости её сборки и отладки.

В силу этого задача разработки нового поколения регистрирующей аппаратуры была весьма актуальной.

Целью работ явилось создание многоканальной электронной аппаратуры съёма и регистрации информации крупных экспериментальных установок на основе использования интегральных схем средней степени интеграции, специализированных гибридных схем, а также новых структурных и схемных решений.

Автор защищает настоящей работой:

1. Теоретическое обоснование и практическую реализацию метода обобщения измерительных каналов в аналого-цифровых преобразователях годоскопических регистрирующих систем.

2. Разработку и внедрение многоканальных блоков регистрирующей аппаратуры, отличающихся высокой плотностью размещения измерительных каналов, низкой потребляемой мощностью, малым временем считывания данных.

3. Разработку оригинальных схемных решений узлов регистрирующей электроники годоскопических систем.

Научная новизна

1. Доказана возможность унификации многоканальных аналого-цифровых преобразователей годоскопических регистрирующих систем с измерением заряда, амплитуды или времени поступления сигналов с детекторов.

2. Проведён подробный анализ искажений аналоговой информации при регистрации сигналов преобразователем с обобщёнными каналами. Выделены основные источники искажений и получены формулы для определения эффективности регистрации.

3. На основе проведённых расчётов впервые определены наиболее рациональные структурные схемы регистраторов с обобщением измерительных каналов для различных нагрузок годоскопической системы, дающие существенную экономию оборудования при сохранении высокой эффективности регистрации.

4. Впервые создана аппаратура регистрации зарядов и временных интервалов с унифицированным групповым преобразованием в цифровой код.

Практическая ценность полученных результатов состоит прежде всего во внедрении разработанной аппаратуры в физический эксперимент. Кроме того, результаты проведённых расчётов непосредственно применимы для рационального инженерного проектирования регистрирующей аппаратуры с обобщением измерительных каналов. Опыт проведённых разработок и сами разработки могут быть применены для использования в других областях исследований.

Апробация работ и публикации. Результаты проведённой работы обсуждались на семинарах по электронике Лаборатории высоких энергий, докладывались на Международном совещании по пропорциональным и дрейфовым камерам (Дубна, 1978 г.), на Всесоюзном симпозиуме по модульным ИВС (Дубна, 1978 г.) и на Международном симпозиуме по ядерной электронике (Дрезден, 1980 г.), а также опубликованы в журнале ПТЭ и сообщениях ОИЯИ.

Структура диссертации отвечает избранной теме, содержанию и требованию цельности излагаемого материала. Она состоит из введения, трёх глав и заключения, содержит 124 стр. текста, 39 стр. иллюстраций и список литературы из 96 названий.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается актуальность проблемы развития многоканальной регистрирующей аппаратуры ядерно-физического эксперимента. Кратко изложено то новое, что, по мнению автора, вносится работой в избранную проблему, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации обзорная и посвящена анализу требований к многоканальной регистрирующей аппаратуре в современном физическом эксперименте. В первую очередь выделен набор параметров сигналов с детекторов, отображающих исследуемые процессы, а также существенных с точки зрения неискажённого съёма информации электроникой регистрации. Приведены основные расчётные соотношения либо экспериментальные данные по выделенным параметрам для координатно-временных детекторов (пропорциональных и дрейфовых камер), а также для детекторов, измеряющих энергетические потери (черенковских, спинтилляционных). На основе проведённой систематизации характеристик детекторов определены количественные требования к собственным параметрам электронной регистрирующей аппаратуры – усилителей-формирователей и преобразователей аналоговых сигналов в код.

Проанализирована также вторая группа требований к регистрирующей аппаратуре, определяемая её многоканальностью, а также большим количеством регистрируемой информации о событии. Сюда отнесены проблемы обеспечения надёжности, снижения стоимости, габаритов и

потребляемой мощности, а также требования к получению максимальной скорости передачи и плотности упаковки данных при считывании.

Проведён краткий обзор существующих методов регистрации информации с пропорциональных (ПК) и дрейфовых (ДК) камер, а также с детекторов для измерения энергии. Отмечено, что размещение аппаратуры регистрации ПК непосредственно на камерах даёт радикальную экономию кабельных соединений по сравнению с аппаратурой, размещённой в крейтах КАМАК и нашедшей применение в силу эксплуатационных удобств. Дано сравнение цифровых и аналоговых методов преобразования времени дрейфа в код, применяемых в регистрирующей аппаратуре ДК. Отмечено, что большое время преобразования аналоговых систем, считающееся их основным недостатком, при наличии схемы быстрого сброса вносит несущественный вклад в мёртвое время регистрации, по сравнению с временем считывания данных в накопитель. Подчёркнута важная особенность заряд-цифровых преобразователей, состоящая в наличии "пьедестала" на выходе при нулевом входном сигнале, а также вытекающая отсюда необходимость введения схем пороговой генерации запросов для осуществления считывания только значащей информации.

Последний раздел главы посвящён вопросам организации считывания данных из регистрирующей аппаратуры годоскопических систем. Сформулированы требования к устройствам считывания по быстрдействию. Рассмотрены различные методы поиска и кодирования номеров случайно расположенных сработавших каналов регистрирующей аппаратуры. Показано, что при иерархическом методе кодирования достаточно иметь два уровня иерархии, из-за пренебрежимо малой вероятности отсутствия информации в больших группах регистрирующих каналов.

Вторая глава диссертации посвящена расчётам основных характеристик годоскопических регистрирующих систем. В первом разделе даётся теоретическое обоснование возможности обобщения аналоговых измерительных каналов, регистрирующих амплитуду, заряд или время поступления импульсов с детекторов^{/3/}.

Характерной и общей особенностью всех годоскопических систем, состоящих из двумерного набора большого числа однотипных детекторов, является то, что в момент измерения (запуска установки) срабатывает малая доля (1-5%) детекторов, случайным образом распределённых как по числу, так и по их месту в годоскопе. В связи с этим индивидуальные аналого-цифровые преобразователи, подключённые к выходам отдельных детекторов годоскопа, используются в каждом запуске установки весьма малоэффективно. Число каналов преобразования можно резко сократить путём их обобщения, когда небольшая группа преобразователей обслуживает с помощью коммутатора сравнительно большое число

детекторов. Такое обобщение измерителей, естественно, требует запоминания номеров сработавших каналов.

Показана возможность унификации узлов преобразователей аналоговых величин в цифровой код, если при обобщении измерительных каналов исходить из структурных схем, основанных на промежуточном преобразовании аналог-временной интервал^{/3/}. Многоканальные преобразователи для измерения заряда, амплитуды (рис. I а) и временных интервалов (рис. I б) отличаются лишь входными узлами промежуточного преобразования: $Z, A \rightarrow A \rightarrow T$ и $T \rightarrow A \rightarrow T$. Остальная часть схемы, в которой с помощью коммутатора распределяются сигналы с указанных узлов $Z, A \rightarrow A \rightarrow T$ и $T \rightarrow A \rightarrow T$ по каналам время-цифрового преобразования $T \rightarrow Ц$, полностью совпадает, т.е. обеспечивается унификация. Выбор соотношения между числом входов K и числом обобщённых каналов N зависит от загрузки n_0 (множественности срабатываний) данного участка годоскопа и определяется из условий получения высокой эффективности регистрации.

В силу того, что импульсы с детекторов имеют конечную (не нулевую) длительность и электроника регистрации не идеальна, часть сигналов будет зарегистрирована с искажениями. Мерой вносимых искажений и является эффективность регистрации, которая может быть определена тремя различными способами:

1. Эффективность есть относительное число частиц, зарегистрированных годоскопической плоскостью без искажений.
2. Эффективность есть относительное число частиц, зарегистрированных только в тех запусках установки, в которых не было ни одного искажения.
3. Эффективность есть относительное число событий (запусков установки), в которых регистрация проходила без искажений.

Выведены формулы, связывающие эффективность всей годоскопиче-

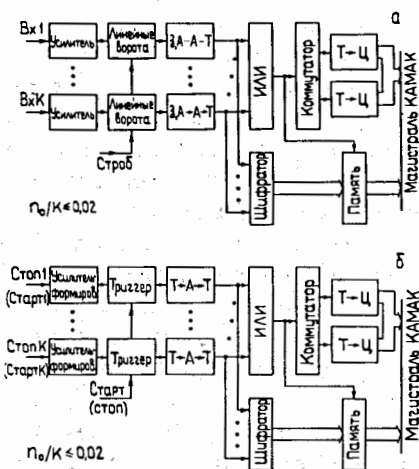


Рис. I. Обобщение измерительных каналов в регистраторах заряда, амплитуды (а) и временных интервалов (б).

своей плоскости с эффективностью отдельных её участков по всем трём определениям. На основании полученных формул показано, в частности, что для первого определения эффективности годоскопа и отдельного его участка равны между собой (при равномерной загрузке годоскопа по отдельным участкам).

Выделены основные источники искажения регистрируемой аналоговой информации и проведён соответствующий расчёт эффективности отдельных составляющих. При этом учитываются как наложения сигналов с выходов детекторов (источник искажений, не зависящий от электронной аппаратуры), так и дополнительные источники, появляющиеся в результате обобщения измерителей за счёт:

- а) наложения импульсов, соответствующих окончанию временных интервалов преобразователей $Z, A \rightarrow T$ и $T \rightarrow A \rightarrow T$ в схеме ИЛИ и в шифраторе номера сработавшего канала (см. рис. 1 а, б);
- б) ограниченного быстродействия коммутатора (мёртвое время t_k), переключающего импульсы со схемы ИЛИ поочередно на преобразователи $T \rightarrow Ц$;
- в) ограниченного разрешающего времени схемы запоминания, служащей для кратковременного хранения номеров сработавших каналов;
- г) ограниченности числа (N) преобразователей $T \rightarrow Ц$.

На рис. 2а приведён график зависимости эффективности коммутато-

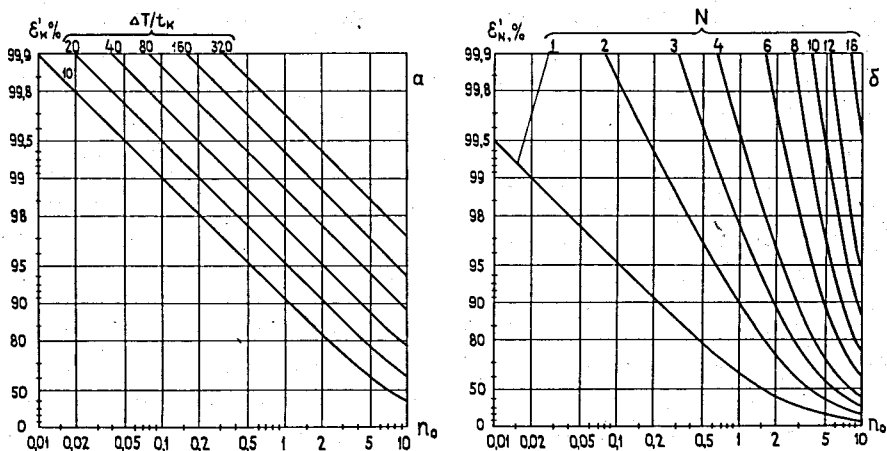


Рис. 2. Зависимость эффективности регистрации (по первому определению) коммутатора сигналов (а) и N -канального измерителя (б) от загрузки годоскопической системы.

ра сигналов от загрузки годоскопической системы при различных величинах $\Delta T/t_k$ (где ΔT – разброс моментов появления импульсов на входе коммутатора; t_k – его мёртвое время). На рис. 2 б показано снижение эффективности регистрации с увеличением загрузки годоскопической системы, связанное с ограниченным числом измерителей в группе. В целях сравнения проведён также расчёт зависимостей эффективности регистрации коммутатора и N -канального измерителя по второму определению. Полученные соотношения и графики можно использовать для нахождения оптимальных структурных схем регистрирующей аппаратуры.

Показано, что структурная схема, изображённая на рис. 1 а, б, может быть применена для всех годоскопических систем, измеряющих заряд, амплитуду или время поступления импульсов при нагрузках до 1 частицы на 50 детектирующих ячеек. Такой блок должен содержать 16 каналов преобразования аналог-временной интервал, подключённых с помощью коммутатора к двум преобразователям время-цифра, а также схему запоминания номеров сработавших каналов. Для нагрузок $n_0 \leq 0,3$ в случае измерения заряда или амплитуды обеспечена эффективность регистрации 96%; причём половина случаев искажений происходит из-за наложения импульсов на входах каналов. Проверена приемлемость этой структурной схемы также для годоскопических систем с большой кратностью срабатывания, т.е. когда под действием одной частицы срабатывает не один, а несколько смежных детекторов-ячеек, как это происходит, например, в многоканальных черенковских спектрометрах полного поглощения.

В случае измерения временных интервалов структурная схема, показанная на рис. 1 б, обеспечивает эффективность регистрации 98% до нагрузок $n_0 \leq 0,3$. Главное отличие годоскопических систем с измерителями времени состоит в том, что импульсы на входы поступают не одновременно, а в течение некоторого интервала ΔT (дрейфа, пролёта), что сильно снижает вероятность наложения импульсов на входах. В этом случае основным фактором ограничения эффективности является экспандер, способный регистрировать только одну частицу на запуск установки. Поэтому на каждом входе целе-

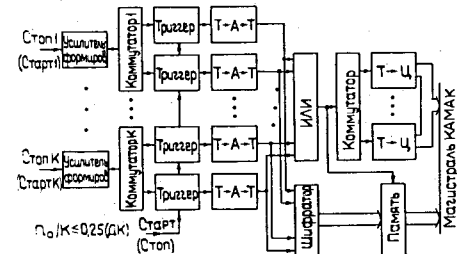


Рис. 3. Структурная схема регистратора временных интервалов с обобщением измерительных каналов при больших нагрузках годоскопической системы.

сообразно включение индивидуального коммутатора перед узлами Т-А-Т, как показано на рис.3. Такая структура обеспечит эффективную регистрацию в среднем 12 частиц на 50 дрейфовых промежутков.

Обобщение измерительных каналов при сохранении высокой эффективности регистрации обеспечивает существенную экономию оборудования, способствует более плотному размещению измерительных каналов и снижению потребляемой мощности. Отмечено также важное свойство систем с обобщением измерительных каналов, состоящее в простоте организации считывания только значащей информации. Проведён расчёт сокращения времени считывания при переходе от блоков с индивидуальными измерительными каналами к блокам с обобщёнными каналами.

Во втором разделе главы проведён расчёт зависимостей времени считывания и удельных затрат оборудования от числа обслуживаемых каналов для четырёх типовых устройств считывания из регистрирующей аппаратуры пропорциональных камер. На основе полученных зависимостей сделаны выводы, что

а) специализированные (нестандартные) системы считывания требуют меньших удельных затрат оборудования и более эффективны по времени считывания, чем системы, в которых вся регистрирующая аппаратура размещена в крейтах КАМАК;

б) минимальные затраты оборудования имеет система с последовательным методом кодирования на основе сдвигового регистра и счётчика, а её эффективность по времени считывания растёт с ростом обслуживаемых ею каналов. Для больших систем с количеством проволочек 10 000 и более параллельное включение таких последовательных ветвей оказывается наиболее выгодным.

В третьей главе даётся описание многоканальных блоков, разработанных автором, для съёма и регистрации сигналов с пропорциональных и дрейфовых камер, а также с детекторов для измерения энергетических потерь.

В первом разделе описана регистрирующая аппаратура ПК, размещённая непосредственно на камерах^{1/1}. Она имеет традиционную структуру канала, состоящего из усилителя-формирователя, одновибратора задержки, триггера памяти и ворот считывания. Усилитель сигнала с проволочки построен на основе специализированной гибридной схемы К243АГ1, а остальная часть - на стандартных схемах ТТД. Приводятся основные данные и сравнительные характеристики созданной регистрирующей аппаратуры, выгодно отличающейся от аналогичных разработок (с использованием "дискретных" интегральных схем) малой потребляемой мощностью (250мВт) и малым количеством интегральных схем (2,9) на канал регистрации.

Размещение всей аппаратуры регистрации для ПК непосредственно на камерах дало возможность избежать большого количества соединительных кабелей и разъёмов. Данная разработка является частью регистрирующей аппаратуры бесфилмового спектрометра БИС-2 по поиску новых очарованных частиц и работает на двух камерах с суммарным количеством каналов ~700.

Во втором разделе описан усилитель-формирователь для дрейфовых камер^{2/2}, построенный на основе интегральной схемы ЭСЛ "дифференциальный приемник" типа К500ЛП16. Дифференциальные приемники серии К500 являются весьма удобной элементной базой для построения усилителей для ДК. Схема по своей структуре приспособлена к быстрому восстановлению при больших перегрузках. Её быстродействие обеспечивает собственный временной сдвиг^{*} формирователя ~4 нс, что вполне приемлемо с точки зрения пространственного разрешения дрейфовой камеры.

В схему усилителя введено дифференцирование входного импульса с постоянной времени 20 нс, служащее для укорачивания спада усиленного импульса с целью повышения разрешения аппаратуры по двойным частицам в одном дрейфовом промежутке. Описанный усилитель-формирователь выгодно отличается от аналогичных разработок (без использования гибридной технологии) малой величиной потребляемой мощности (400 мВт) и малым количеством используемых активных элементов на канал регистрации; по остальным параметрам не уступает лучшим образцам, известным из литературы. Данные усилители-формирователи применяются в экспериментах "Тау" и "Альфа", суммарное количество проволочек ~200.

Третий раздел главы посвящён описанию многоканальных зарядцифрового и время-цифрового преобразователей с реализацией метода обобщения измерительных каналов. Они строятся на основе группового время-цифрового преобразователя (ВЦП), выполненного в виде отдельного блока^{4/4}, на вход которого можно подключить до четырёх 16-канальных экспандеров (ВВП)^{4/4} или преобразователей заряд-временной интервал (ЗВИ)^{5/5}. Данное решение (вынесение узла время-цифрового преобразования Т-Ц в отдельный блок) позволяет:

- унифицировать схему преобразования в цифровой код;
- подключать к нему измерители как аналоговых сигналов, так и временных интервалов;
- в широких пределах варьировать соотношение между числом входов и числом обобщённых каналов в зависимости от загрузки годоскопической системы;

* Собственный временной сдвиг - уменьшение задержки выходного сигнала формирователя при увеличении амплитуды прямоугольного входного сигнала в пределах от 2-кратного до 20-кратного превышения над порогом.

- повысить эффективность использования блоков связи с ЭВМ путём вынесения блоков предварительного преобразования аналог-время в отдельный крайт, не связанный с ЭВМ.

Структурные схемы 16-канальных блоков промежуточного преобразования показаны на рис. 4. Их общая отличительная черта состоит в наличии схем быстрого сброса, служащих для прекращения начатого преобразования сигналом отрицательного решения в системе отбора событий. Погрешность измерения, осуществляемого непосредственно вслед за сигналом быстрого сброса, составляет менее 0,1%. Отмечено, что структурные схемы преобразователей ВВП и ЗВП полностью совпадают, начиная со схем дифференцирования, которые выделяют конец временных интервалов, пропорциональных входным сигналам.

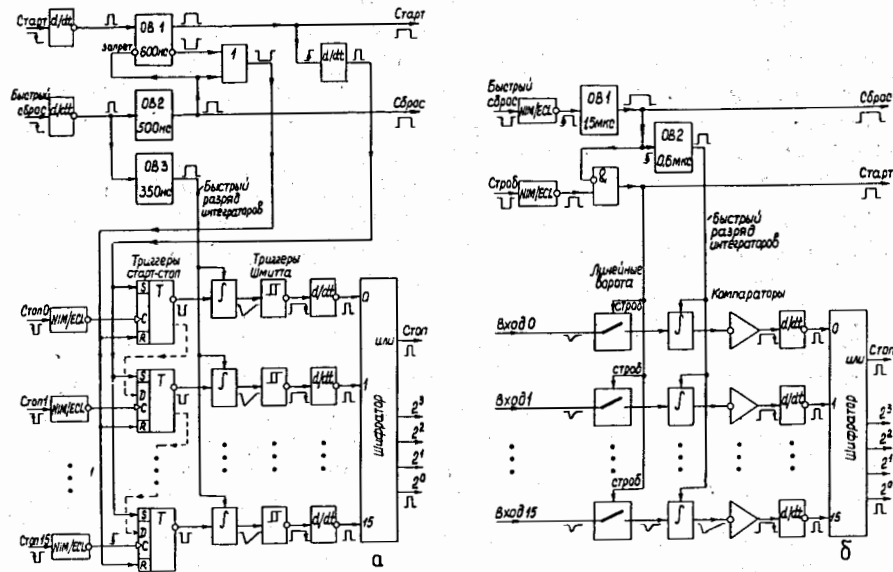


Рис. 4. Блок-схемы многоканальных преобразователей времени (а) и заряда (б) во временной интервал.

В блоке ВВП предусмотрена возможность подключения к каждой проволочке дрейфовой камеры двух или более экспандеров для последовательной регистрации двух или более частиц в одном дрейфовом промежутке. Для этого необходимо объединить требуемое количество входов, последовательная же работа соответствующих каналов обеспечивается за

счёт соединений между триггерами старт-стоп, показанных на рис. 4а штриховой линией. Соединённые таким образом триггеры образуют сдвиговой регистр, заполняемый по мере поступления стоп-сигналов. Если каналы экспандера используются отдельно, то эти соединения не выполняются.

Блок-схема группового время-цифрового преобразователя показана на рис. 5. Он содержит общий 10-разрядный синхронный счётчик, выходы которого подключены ко входам данных памяти, способной регистрировать до 16 слов. Преобразование временных интервалов в цифровой код осуществляется путём записи в память содержания синхронного счётчика в моменты времени поступления стоп-сигналов на вход ВЦП. Одновременно в память записывается также 6-разрядный код номера сработавшего канала. В конце преобразования в память ВЦП будут записаны 16-разрядные слова, количество которых равно числу поступивших в диапазоне преобразования стоп-сигналов и считывание которых производится через магистраль КАМАК. В преобразователе предусмотрена схема подавления сигналов, соответствующих "пьедесталу" преобразования, которая запрещает регистрацию стоп-сигналов в течение регулируемого промежутка времени, отсчитываемого от первого стоп-импульса. Подобная реализация временного порога ВЦП позволяет добиться автоматического отслеживания группового сдвига всех "пьедесталов", происходящего, например, в результате изменения длительности строб-сигнала, подаваемого на входы блоков с преобразователями З, А-Т.

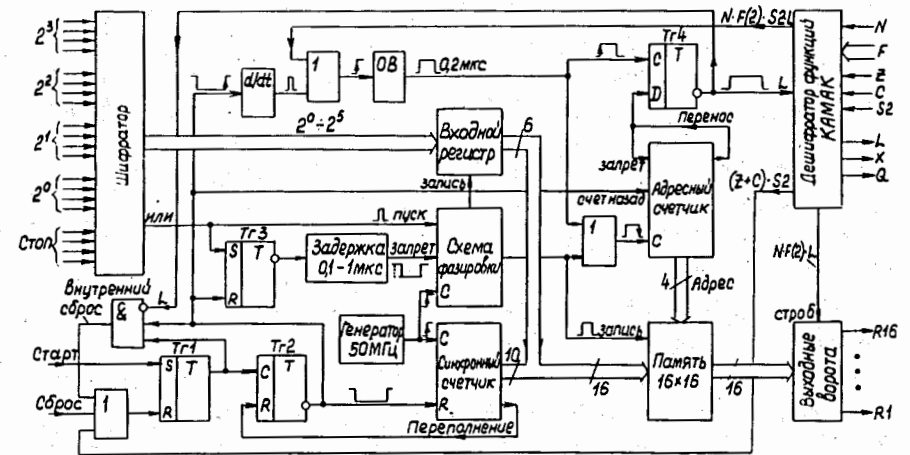


Рис. 5. Блок-схема группового время-цифрового преобразователя.

Система, состоящая из 16-канальных экспандеров и группового НЦП, предназначена в основном для регистрации сигналов с дрейфовых камер. Экспандеры расширяют диапазон измеряемых временных интервалов с 0,5 нс до 10 нс, число градаций преобразования составляет 512, а цена отсчёта - 1 нс. Обеспечена возможность использования системы в технике времяпролётных измерений за счёт увеличения коэффициента расстройки экспандеров с 20 до 100 (ширина канала уменьшается до 0,2 нс). При малой множественности (количестве регистрируемых системой частиц) каждый экспандер подключён к отдельной проволочке, следовательно, НЦП регистрирует сигналы с участка, состоящего из 64 проволочек дрейфовой камеры. Проведён расчёт эффективности такой системы: она способна регистрировать в среднем 2 частицы (на запуск установки) с эффективностью 98%. Подключение двух экспандеров к каждой проволочке позволяет сохранить такую эффективность при регистрации до 5 частиц с участка в 32 сигнальные проволочки.

Вторая система заряд-цифрового преобразования, предназначенная для регистрации сигналов со сцинтилляционных и черенковских спектрометров, состоит из 16-канальных преобразователей заряд-время и группового НЦП. Число градаций - 1024; цена отсчёта - 0,25 пКл. Приведённый расчёт показывает, что 64-канальная система способна в среднем регистрировать до 4 частиц с эффективностью 98%. Для регистрации большей множественности можно уменьшить число ЗВП, обслуживаемых одним НЦП, но при этом потери, обусловленные наложениями сигналов в детекторах, могут стать недопустимо большими.

Разработанные преобразователи отличаются от аналогичных разработок высокой плотностью размещения измерительных каналов и малой потребляемой мощностью за счёт применения метода обобщения и использования специализированной гибридной схемы в блоке ЗВП. Они обеспечивают существенную экономию оборудования по сравнению с блоками с индивидуальными измерительными каналами и позволяют считывать только значащую информацию, что существенно уменьшает время считывания и требуемый объём памяти для хранения данных. В настоящий момент они применяются в установке "Tau" по поиску новых короткоживущих частиц.

Заключение. Основные результаты проведённой работы кратко можно сформулировать следующим образом:

1. Дано теоретическое обоснование возможности обобщения аналоговых измерительных каналов, регистрирующих амплитуду, заряд или время поступления импульсов с годоскопических систем детекторов. На основе анализа структурных схем преобразователей показано, что метод обобщения измерительных каналов обеспечивает существенную экономию оборудования при сохранении высокой эффективности регистрации, способ-

ствует более плотному размещению измерительных каналов и снижению потребляемой мощности.

2. Сформулированы различные определения эффективности регистрации частиц годоскопической системой детекторов. Получены соотношения, связывающие эффективность всей годоскопической плоскости с эффективностью отдельных её участков. Выделены основные источники искажений аналоговой информации при регистрации сигналов преобразователем с обобщёнными каналами. Выведены формулы для вычисления эффективности как меры искажений, вносимых отдельными составляющими. Полученные соотношения и формулы можно использовать для нахождения оптимальных структурных схем регистрирующей аппаратуры.

3. Определены наиболее рациональные структурные схемы регистраторов с обобщением измерительных каналов для различных нагрузок годоскопической системы, исходя из условий получения высокой эффективности регистрации.

Показана возможность унификации регистрирующей аппаратуры для всех годоскопических систем, измеряющих амплитуду, заряд или время поступления импульсов при нагрузках до 1 частицы на 50 детектирующих ячеек (в момент запуска). Предложена структурная схема для электронной аппаратуры дрейфовых камер с индивидуальными коммутаторами на входах с эффективной регистрацией предельной загрузки (12 частиц на 50 дрейфовых промежутков). Проведён расчёт сокращения среднего времени считывания при переходе от блока с индивидуальными измерительными каналами к блоку с обобщёнными каналами.

4. Практически реализован принцип обобщения измерительных каналов в многоканальных преобразователях время-цифра и заряд-цифра. Обеспечена высокая степень унификации аппаратуры благодаря вынесению общего узла время-цифрового преобразования в самостоятельный блок, к которому могут быть подключены как измерители амплитуды или заряда сигналов, так и измерители временных интервалов. Данное решение создаёт гибкость функциональной структуры, за счёт возможности варьирования соотношения между числом входов и числом обобщённых каналов. Это минимизирует избыточность стандартной электронной аппаратуры и повышает эффективность использования блоков связи с ЭВМ.

Разработанные многоканальные преобразователи сопоставлены по параметрам с разработками ведущих зарубежных фирм. Получены высокая плотность размещения измерительных каналов (более 12 на станцию КАМАК), низкая величина потребляемой мощности (0,7 Вт на канал) и большое быстродействие ($f_{\text{такт}} = 50 \text{ МГц}$). Обеспечена возможность использования преобразователя время-цифра в технике времяпролётных

измерений за счёт уменьшения ширины канала с 1 нс до 0,2 нс. В преобразователях предусмотрены схемы быстрого сброса для прекращения начатого преобразования сигналом отрицательного решения с системы отбора событий.

5. Разработаны регистрирующий канал для пропорциональной и усилитель-формирователь для дрейфовой камер. Они выгодно отличаются от аналогичных разработок, основанных на использовании "дискретных" интегральных схем, низким потреблением мощности и минимальным количеством используемых активных элементов.

6. Предложен ряд (8 вариантов) оригинальных схемных решений узлов регистрирующей аппаратуры, отличающихся простотой реализации или улучшенными по сравнению с известными схемами характеристиками.

7. Разработанные блоки являются стандартной регистрирующей аппаратурой Лаборатории высоких энергий. Создана необходимая техническая документация и организовано внедрение разработок в производство ОП ОИЯИ. Данные разработки используются в таких крупных спектрометрах Лаборатории, как установка БИС-2 для поиска новых частиц с ненулевым квантовым числом "очарования", установка "Тау" по поиску новых короткоживущих частиц, установка "Альфа" для исследования адронов и релятивистских ядер.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Лохоня Л., Надаи И. Электронная регистрирующая аппаратура для пропорциональных камер, разработанная в ЦИФИ ВАН для установки БИС-2. Труды Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978. ОИЯИ, ДПЗ-11807, Дубна, 1978, с.282.

2. Басиладзе С.Г., Лохоня Л. Усилитель-формирователь для дрейфовых камер. Препринт ОИЯИ, 13-11277, Дубна, 1978; ПТЭ, 1979, № 3, 122.

3. Басиладзе С.Г., Лохоня Л. О возможностях унификации аналого-цифровых преобразователей годоскопических регистрирующих систем. Препринт ОИЯИ, 13-11651, Дубна, 1978; ПТЭ, 1979, № 6, 72.

4. Басиладзе С.Г., Лохоня Л. Система регистрации информации с дрейфовых камер. Препринт ОИЯИ, 13-80-137, Дубна, 1980.

5. Басиладзе С.Г., Лохоня Л. Многоканальный заряд-цифровой преобразователь для годоскопических регистрирующих систем. Препринт ОИЯИ, 13-80-703, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 июля 1981 года.